

Aus der Prothetischen Abteilung der Klinik und Poliklinik
für Zahn-, Mund- und Kieferkrankheiten
der Johannes-Gutenberg-Universität in Mainz

Direktor: Prof. Dr. F. Jung

**DER EINFLUSS DER GUSSAPPARATE
AUF DIE QUALITÄT DES ZAHNÄRZTLICHEN GUSSES**

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung der Würde eines Doktors der Zahnheilkunde
der Hohen Medizinischen Fakultät
Mainz

vorgelegt von
Klaus-Dieter Fuchs
aus Heilbronn (Neckar)

Mainz 1967



Digitized by the Internet Archive
in 2026

Aus der Prothetischen Abteilung der Klinik und Poliklinik
für Zahn-, Mund- und Kieferkrankheiten
der Johannes-Gutenberg-Universität in Mainz

Direktor: Prof. Dr. F. Jung

**DER EINFLUSS DER GUSSAPPARATE
AUF DIE QUALITÄT DES ZAHNÄRZTLICHEN GUSSES**

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung der Würde eines Doktors der Zahnheilkunde
der Hohen Medizinischen Fakultät
Mainz

vorgelegt von
Klaus-Dieter Fuchs
aus Heilbronn (Neckar)

Mainz 1967



Dekan: Professor Dr. L. Diethelm

Referent: Privatdozent Dr. H. Marx

Korreferent: Professor Dr. F. Jung

INHALT

A.	EINLEITUNG	1
B.	METALLURGISCHE PROBLEME	2
	1. Das Entstehen von Lunkern und Gaseinschlüssen	2
	2. Gußtechnische Voraussetzungen	3
	a) Der verlorene Kopf (v. K.)	3
	b) Der Gußkanal	5
	c) Die Temperatur der Schmelze und der Muffel	6
	d) die Größe des Metalldrucks	7
	e) Die Gußapparate	8
C.	EIGENE UNTERSUCHUNGEN	10
	1. Die zum Vergleich benutzten Gußapparate	10
	2. Die Herstellung der Güsse	12
	3. Die Auswertung	14
	4. Statistische Methode	16
	5. Messungen der Zentrifugalkraft und der Beschleunigung	34
D.	RESULTATE UND SCHLUSSFOLGERUNGEN	39
E.	LITERATURVERZEICHNIS	58

A. EINLEITUNG

Bei der Einführung der Gußtechnik in die Zahnheilkunde durch OLLENDORF (1905) und TAGGART (107) waren die Ergebnisse immer nur unvollkommen oder Zufallserfolge (1); erst durch eine große Zahl von Arbeiten europäischer und amerikanischer Forscher wurden die Fehlerquellen aufgedeckt, die die Ursachen für die Mißerfolge beim Guß waren. „MEYERS gibt uns ein Schema der möglichen Fehlerquellen an, und er kommt dabei zu der eindrucksvollen Zahl von 60 Ursachen des Mißerfolges“ (Zit. 1). So kennen wir heute die Möglichkeiten, die es uns gestatten, diese Fehler zu vermeiden und einwandfreie Dentalgüsse herzustellen.

Die Praxis sieht allerdings anders aus, denn neben vielen gelungenen Güssen, die dicht sind und höchstens unter dem Mikroskop eine feine Lunkerigkeit aufweisen, finden wir auch Güsse mit großen Lunkern, die schon mit dem bloßen Auge als Hohlräume zu erkennen sind.

Eine große Bedeutung für das gute Gelingen des Metallgusses besitzt die Art und Weise, wie das flüssige Metall in die Hohlform gebracht wird. Dazu stehen der zahnärztlichen Gußtechnik eine ganze Reihe von verschiedenen Apparaten zur Verfügung. Das Eingießen des geschmolzenen Metalls geschah anfangs in primitiver Weise durch die Schwerkraft oder Bewegungsenergie. Im weiteren Verlauf der Entwicklung des zahnärztlichen Gußverfahrens wurden eine Unzahl von Gußvorrichtungen, Gußapparaten, Gußmaschinen usw. konstruiert, bei denen das geschmolzene Metall durch den Druck von Gasen, durch Zentrifugalkräfte, durch Saugkraft und durch Kombination dieser Kräfte in die Gußform gebracht wurde (2). Als bewährteste Verfahren sind heute das Schleuder- und Druckverfahren im Gebrauch, doch besteht eine Diskrepanz der Gutachten über deren Wirkungsweise. So gilt es in dieser Arbeit das Verfahren herauszufinden, das das Auftreten von Lunkern oder Gaseinschlüssen in den niedrigsten Grenzen hält.

B. METALLURGISCHE PROBLEME

1. Das Entstehen von Lunkern- und Gaseinschlüssen

Die theoretischen Grundlagen für die Entstehung der Lunker sind bekannt: „Jede Schmelze erfährt bei der Erstarrung eine Volumenverminderung, die durch die dichtere Packung der Atome im Gitter des festen Metalls verursacht ist“ (11). G. M. HOLLENBACK und E. W. SKINNER zeigten, daß die Dentallegierungen bei der Kristallisation um ungefähr 5 % des Volumens schrumpfen, wobei die Temperatur der Schmelze ohne Einfluß auf diesen Schrumpfungsvorgang ist (17). Eine flüssige Kugel, die durch die Abkühlung an der Oberfläche erstarrt, wird zwangsläufig im Inneren einen Schrumpfungshohlraum, Lunker, durch die Volumenverringerng bilden, dessen Wände unregelmäßige, zackige Form mit scharfen Kanten haben (2). Je nach dem Charakter der Legierung und den Bedingungen beim Erstarren werden die Güsse nur einen großen Hohlraum, Makrolunker, oder viele kleine diffus verteilte, sogenannte Mikroporositäten, aufweisen, denn Legierungen mit einem größeren Schmelzintervall bilden eher kleine Poren oder Mikroporositäten; auch die Art der Abkühlung hat großen Einfluß auf die Art und Gestalt der Porositäten. So treten hauptsächlich bei schnellem Abkühlen Makrolunker auf, auch bei Legierungen, die gewöhnlich nur Mikroporositäten (Schwammigkeit) bilden. Oberflächenlunker treten bei einem Guß dann auf, wenn die schrumpfenden Partien unter der Oberfläche liegen und die entsprechende Schicht durch den negativen Druck in den Hohlraum gezogen wird (17).

Gaseinschlüsse kommen vor, wenn absorbiertes oder mechanisch eingeschlossenes Gas in die Hohlform durch die Legierung mitgerissen wird und hier beim Abkühlen wieder abgegeben wird. Ist aber die Schmelze nach dem Gießen an der Oberfläche sehr rasch erstarrt, so können die Gase nicht entweichen und bilden glattwandige Hohlräume, Gasblasen (2).

Die oberflächigen und inneren Defekte in einem Gußstück nicht nur graziöser, sondern auch kräftiger Bauart schwächen das Werkstück beträchtlich, so daß es bei Beanspruchung zum Bruch gebracht wird. Mikrolunker im

Innern eines Gusses beeinträchtigen zwar die Festigkeit nicht so wesentlich, doch sind sie geeignet, namentlich dann, wenn sie an der Oberfläche liegen, dessen Mundbeständigkeit zu gefährden oder Anlaß zu Verfärbungen zu geben (4). Es bilden sich nämlich Potentialdifferenzen infolge unterschiedlicher Belüftung, denn die Oberfläche der Legierung, zu der Speichel und Luft ungehindert Zutritt haben, wird dabei zur Kathode, während in der Tiefe des Lunkers, in dem der eingedrungene Speichel durch die Zersetzung organischer Stoffe oder Bakterientätigkeit an Sauerstoff verarmt, anodische Bezirke entstehen. Hier können dann unedle Bestandteile der Legierung als Ionen in Lösung gehen, die sich an den kathodischen Stellen der Oberfläche niederschlagen, wo sie in deutlich sichtbare Sulfide oder Oxide umgewandelt werden (10).

2. Gußtechnische Voraussetzungen

a) Der verlorene Kopf (v. K.)

Seit der Einführung des verlorenen Kopfes in Anlehnung an die Gießerei-Industrie durch FRITSCH, ELBRECHT, NOWACK hat man gelernt, mit ihm dem Lunker auch beim zahntechnischen Gießen zu begegnen. Er wird als kugelförmiges Wachsgebilde auf dem Gußstift angebracht und dient als Schmelzreservoir, aus dem das Gußobjekt beim Erstarren Schmelze nachziehen kann (3). Voraussetzung ist natürlich, daß die Schmelze im v. K. noch hinreichend flüssig ist, wenn das Gußobjekt schon fast ganz erstarrt ist, da der Lunker stets dort auftreten wird, wo das Metall zuletzt erstarrt. Er tritt also dann nicht im eigentlichen Gußstück, sondern im v. K. oder im Gußstift auf. Die angestrebte Reihenfolge der Erstarrung, zuerst Gußobjekt, dann v. K. und zum Schluß der Hals, wird als „gerichtete Erstarrung“ bezeichnet (7).

Um den v. K. wirksam werden zu lassen, d. h. um den Schwindungshohlraum in den v. K. zu verlegen, sind zwei entscheidende Faktoren wichtig. Diese Faktoren sind die Temperaturverteilung und die zweckmäßige Größe des v. K. Wird ein Metall in eine vorgewärmte Hohlform aus einer Einbettmasse gegossen, so wird die Reihenfolge der Erstarrung davon abhän-

gig sein, ob die Einbettmasse an allen Stellen die gleiche Temperatur besitzt oder nicht. Wenn eine ungleiche Temperatur herrscht, so setzt die Erstarrung an den kühlen Wandbezirken des Hohlraumes ein; die heißen Stellen wirken als Schmelzreservoir mit Lunkerbildung für den vorher erstarrten Hauptteil des Gusses. Es herrscht deshalb keine gerichtete Erstarrung mehr, wenn nur eine Wand des Gußhohlraumes heißer war, als die Wand des v. K. Daraus geht hervor, wie wichtig eine gleichmäßige Vorwärmung des Gußzylinders ist; sie ist nur in einem geschlossenen Muffelofen zu erreichen. Eine gleichmäßige Vorwärmung kann außerdem nur dann eintreten, wenn das Wachsmo­dell einigermaßen zentral in dem Gußring zu stehen kommt, sonst wird derjenige Abschnitt der Hohlform, der dem Gußring am nächsten steht, heißer als die übrigen und der Lunker tritt in der Nähe der überhitzten Formabschnitte auf. Das Schmelzen des Gußgutes im Gußtrichter der Einbettmasse wirkt weiterhin günstig auf die Temperaturverteilung, weil es in der Regel bewirkt, daß die Einbettmasse oben in der Nähe des v. K. heißer ist, als weiter unten zum Gußobjekt (7).

Um den Schwindungshohlraum weiterhin in den v. K. zu verlegen, muß das Größenverhältnis v. K. zum Gußobjekt beachtet werden. O.LOEBICH gibt an: der v. K. muß 25 % des Gußstückvolumens oder mehr haben, und der Hals – die Verbindung zwischen v. K. und Gußstück – darf nicht über 0,5 mm lang sein und soll eine Stärke von 2 mm haben, sonst kristallisiert die Schmelze im Hals früher als im Gußstück und verhindert das Nachsättigen des Gusses (13). „KNAPPWORST hat darauf hingewiesen, daß ein v. K. den Lunker nur dann vom Gußobjekt fernhalten könne, wenn seine spez. Oberfläche kleiner sei, als diejenige des Gußobjekts“ (Zit. 13). (Unter spez. Oberfläche verstehen wir die Fläche, die auf ein Gramm der Schmelze im Gußstück entfällt, sie wird errechnet aus dem Quotienten der Oberfläche und dem Gewicht des Körpers) (2). Da der Wärmeaustausch nach dem Newtonschen Abkühlungsgesetz (15) am schnellsten verläuft, wenn eine kleine Wärmemenge durch eine große Oberfläche austritt, wird ein Körper mit großer spez. Oberfläche schneller erstarren, als ein Körper mit einer kleinen. Der v. K. muß daher zum Gußstück richtig dimensioniert sein (13).

b) Der Gußkanal

Der Einfluß des Durchmessers und der Länge des Gußkanals ist von vielen Autoren beschrieben worden. Betreffs der Dicke der Gußkanäle besteht ein Unterschied, ob im Gußtrichter geschmolzen werden soll, oder ob eine Horizontalschleuder benützt wird (2). Aus ELBRECHTS Ausführungen geht hervor, daß man den Gußkanal möglichst weit wählen soll (5), doch sind der Weite des Kanals gewisse Grenzen gesetzt. Kanäle mit zu großem Durchmesser sind beim Schmelzen innerhalb des Trichters der Gußkuvette ungeeignet, da die Schmelze vorzeitig in den Gußkanal einlaufen würde. Nach SCHMITT darf der Gußkanal den Charakter der Kapillarität gegenüber dem flüssigen Metall nicht verlieren (4). Aus praktischen Versuchen ergab sich, daß die Gußkanäle einen Mindestdurchmesser von 1,5 mm besitzen müssen (9), um zu vermeiden, daß die Schmelze beim Einschießen zu stark abgebremst wird. Die Gußkanalstärke von 1,5 mm genügt zum sicheren Ausfüllen der Form.

Die Länge des Gußkanals bringt keine grundsätzlichen Änderungen in der Anordnung der porösen Stellen mit sich (11, 18), doch fordert PHILLIPS eine solche Länge des Gußkanals, daß die Wachsforn nicht mehr als 6 – 8 mm Abstand vom Grund der Muffel hat, um Porositäten durch Luftstau zu vermeiden. Erklärung: Es ist nötig, Fluchtmöglichkeiten für das Gas in der Hohlform zu schaffen, damit sie durch das einschießende Metall gefüllt wird. Generell hängt die Größe des Luftstaus von der Dicke und der Dichte der Einbettmasse, die das Gußobjekt vom Muffelende trennt, ab (19).

Das Anbringen der Gußkanäle ist von entscheidender Bedeutung, denn das Entstehen von Lunkern im Werkstück bzw. das Nicht-Ausfließen der Gußform sind meist darauf zurückzuführen, daß die für das Anbringen der Gußkanäle geltenden Regeln nicht beachtet werden. Die Gußkanäle müssen so angebracht werden, „daß die Schmelze möglichst ohne Änderung ihrer Richtung in den Hohlraum einschießen kann“ (8). BONSACK fordert hier die Anbringung des Gußstiftes unter einem Winkel von 135° (1).

Die Gußkanäle sollen so angebracht werden, „daß die Schmelze immer

von dickeren Gußteilen zu dünneren fließen muß“, denn der dünnere Teil eines Gußstückes erstarrt zuerst, weil seine spez. Oberfläche relativ groß ist. Läßt man auf einen dünneren Teil einen dickeren folgen, so verhindert der vorzeitig erstarrende, dünnere Teil ein Nachsaugen von noch flüssiger Schmelze, und es treten Lunker im dickeren Teil des Gußstückes auf.

Die Gußkanäle dürfen nicht so angebracht werden, „daß die einschießende Schmelze Teile der Einbettmasse absprengt“, denn abgesprengte Teile von Einbettmasse erzeugen im Gußobjekt Hohlräume, die das Werkstück schwächen können (8).

c) Die Temperatur der Schmelze und der Muffel

Die richtige Wahl der Schmelz- und Muffeltemperatur ist von Bedeutung für das Auftreten von Porositäten und das Entstehen eines feinen, homogenen Gefüges, denn „bei grobkörnigen Gußgefügen tritt obendrein eine starke Lunkerbildung auf“ (14). Wenn die Muffeltemperatur niedrig ist, oder die Goldtemperatur nur nahe dem Schmelzpunkt ist, kann die Erstarrung so schnell vor sich gehen, daß Schrumpfungen in Form von Mikroporositäten über den ganzen Guß hin auftreten. Wenn das Gold überhitzt wird oder lange Zeit in geschmolzenem Zustand belassen wird, können große Gasmengen in das Metall gelöst oder absorbiert werden, die sich bei der Abkühlung wieder in Form von Poren ausscheiden (20). Um ein feines, homogenes Gußgefüge zu erzielen, gilt daher die Regel, die Schmelze nicht zu überhitzen und die Vorwärmtemperatur möglichst niedrig zu halten. Doch ist eine Überhitzung der Schmelze um etwa 50 – 100° zur vollständigen Ausfüllung der Form meist unumgänglich, da alle Legierungen mit steigender Temperatur dünnflüssiger werden und leichter alle Feinheiten des Gußmodells ausfließen (2, 16).

Die Überhitzungsdauer wird von LOEBICH mit 5 – 10 sec. angegeben, sie darf jedoch niemals zum Überhitzen der Schmelze führen (6). Das Schmelzen geschieht mit der reduzierenden Zone einer Flamme. Sie ist der heißeste Teil der Flamme und in ihr ist kein freier, ungebundener Sauerstoff vorhanden, so daß keine Verbrennung des Schmelzgutes ein-

treten kann. Das Metall muß während des ganzen Schmelzprozesses spiegelnd blank bleiben (6). Die Muffeltemperatur wird am einfachsten dadurch festgelegt, daß man den Gußring nach dem Austreiben des Waxes und des Wassers für 30 Minuten in einen vorher erhitzten elektrischen Muffelofen von konstanter Temperatur legt. Die Temperatur sollte dabei etwa 700° betragen, da sonst bei höherer Temperatur wiederum die Gefahr eines grobkörnigen inhomogenen Gußgefüges besteht (14).

d) Die Größe des Metalldrucks

Welche Bedeutung die Größe des Metalldrucks für das richtige Ausfüllen der Hohlform besitzt, beschreibt SCHMITT in seiner Arbeit (4). Der Metalldruck und somit die Fließgeschwindigkeit läßt sich durch eine Vergrößerung des Gußkanalquerschnitts steigern, doch sind der Vergrößerung des Querschnitts Grenzen gesetzt, wie schon gezeigt wurde.

Eine Steigerung des Metalldrucks geschieht weiterhin durch die Verwendung einer größeren Metallmenge, denn je höher die Metallsäule ist, desto größer ist der Druck, den sie in Richtung auf den Gußkanal ausübt. Eine bedeutende Verbesserung ihrer Ergebnisse bei Druckapparaten verzeichnen KYSELOVA, KYSELA und MARES bei der Verwendung von 4 – 20 g größeren Metallmengen. Sie führen die Verbesserung hauptsächlich darauf zurück, daß das Eindringen von Preßluft in den Guß durch einen „hohlen Wirbel“ in der Schmelze durch diese Vergrößerung verhindert wird (12).

Die Form des Gußtrichters ist von Wichtigkeit, besonders wenn er gleichzeitig als Schmelzmulde für das zu gießende Metall dient. Maßgebend ist der Öffnungswinkel, denn von ihm hängt wiederum die Höhe der Metallsäule ab. Jedoch gilt es zu bedenken, daß in einem spitzen Gußtrichter das Schmelzen des Metalls schwieriger ist, und bei einem flachen Gußtrichter das Metall beim Schleudern leicht über den Rand herausspritzen kann (2). SCHMITT hat festgestellt, daß die rechtwinklig auslaufende Trichterform die zweckmäßigste ist. FALCK-WEIKART geben den Winkel mit $100 - 120^{\circ}$ an (4, 2).

Eine große Bedeutung spielen die für den Guß gebrauchten Gußapparate

für die Erhöhung des Metalldrucks und die Qualität des Gusses. Da in dieser experimentellen Arbeit die Aufgabe gestellt ist, die verschiedenen Gußapparate genauer zu bewerten, möchte ich näher auf deren schon beschriebene Vor- und Nachteile eingehen.

e) Die Gußapparate

„Experimentell haben den Einfluß der Gußapparate auf die Qualität der Gußstücke SPRENG, KLUGE, ROCHES, CRAWFORD, PHILLIPS und MEYERS“ (Zit. 12) und KYSELOVA, KYSELA und MARES studiert, „aber trotzdem ist das Gutachten über die Gußapparate nicht einheitlich. Die metallographische Gruppe von PROF. SPRENG bewertet den Wasserdampfdruckapparat am höchsten und lehnt den Luftdruckapparat wegen des Vorkommens von Gasblasen ab“. „CRAWFORD und ROCHES erzielten die besten Resultate mit Hilfe der Luftdruckapparate“ (Zit. 12). SPANNER, BONSACK, BEEK und KYSELOVA, KYSELA und MARES halten den Schleuderguß für das beste Verfahren.

Wie schon beschrieben ist für die Vermeidung von Schwindungshohlräumen ein gutes und schnelles Nachsättigen der Form ausschlaggebend, da es verhindert, daß die Kristallisation schon vorher im Gußkanal einsetzt. Je schneller ein Gußapparat also die Hohlform füllt, desto besser werden die Ergebnisse beim vollständigen Ausfließen der Form und der Vermeidung der Lunkerbildung sein. Die Arbeiten von MEYERS und PFEIFFER untersuchten die Zeit, die zum Füllen der Hohlform bei Druck und Rotationsapparaten verstreicht. Die Dauer des Gusses beträgt nach ihren Arbeiten ca. 0,1 sec.; die Resultate von SOUDER und HERBERT sowie THOMPSON konnten von ihnen bestätigt werden (21). Die Füllzeit hängt dabei von der Kraft und Geschwindigkeit der Gußmaschine ab und kann durch deren Erhöhung verkürzt werden. Der Vergleich der Schnelligkeit des Gusses zwischen Druckluft und Zentrifugalkraft ergibt einen deutlichen Unterschied zugunsten der Luftdruckapparate. Sie füllen die Form viel schneller und besser, als die Zentrifugalapparate (22).

KYSELOVA, KYSELA und MARES fanden jedoch in allen ihren mit Druckapparaten gegossenen Gußstücken durch Röntgenuntersuchung

tropfenförmige Defekte verschiedener Größe, die zum Teil so groß waren, daß sie den ganzen Durchschnitt des Gusses ausfüllten. Aus den Feststellungen, daß die Defekte bei Luftdruck- sowie Dampfdruckapparaten, nie aber bei Zentrifugalapparaten auftraten, schlossen sie, unterstützt von einer Reihe von Versuchen, daß Druckluft beim Guß mit in die Form gerissen wird und verantwortlich für die Defekte ist.

Eine Verringerung des Druckes hob das Auftreten der Defekte auf, doch sank dabei auch das Formfüllungsvermögen der Schmelze und ihre Gußstücke hatten eine ausgesprochene Kontraktionsmikroporosität. Die Ursache wurde von ihnen mit dem Auftreten von Turbulenzen in der Strömung erklärt. „Die einzelnen Partikel führen dann neben der fortschreitenden noch eine schwingende und rotierende Bewegung aus und der ganze Inhalt des Kanals mengt sich vollkommen“; hierbei wird „Luft in die Schmelze mitgerissen und gleichzeitig wird die Schmelze in der Form zerspritzt. Der Strahl der Schmelze hat im Hohlraum der Form eine genügende Geschwindigkeit, reißt sich von der Wand los, prallt auf die gegenüberliegende Wand und fließt schnell um die Oberfläche des Hohlraumes der Form herum. Dadurch wird in den Abguß der Gasinhalt der Form faktisch eingeparkt“, da das Entkommen des eingeschlossenen Gases erschwert ist. Die etwas besseren Ergebnisse beim Gießen mit Wasserdampf bestehen in einem allmählicheren Steigen des Druckes.

Im Gegensatz zur turbulenten Strömung „wird bei der laminären Durchströmung der auch zu Beginn unruhige Strom ruhig, die Energie des Stromstrahles ist wesentlich kleiner, das Metall fließt ruhig in die Form, zerspritzt nicht und schließt kein Gas ein“. Die Geschwindigkeit der Zentrifugalapparate kommt dabei dem laminären Durchfluß am nächsten. Ihre guten Ergebnisse bei der Vermeidung von Gasinkclusionen sind also durch ihr meist langsames Füllen der Form gegeben, sogar bei einer Erhöhung der Zentrifugalkraft bei 8 Umdrehungen. Dies wurde erklärt, daß beim Gießen mit Zentrifugalkraft die zerspritzende Oberfläche des Metalls in der Form schneller zur Ruhe kommt, und zwar unter dem Einfluß der Zentrifugalkraft, die einige Male größer ist, als die Gravitationskraft (12).

C. EIGENE UNTERSUCHUNGEN

1. Die zum Vergleich benützten Gußapparate

Zur Untersuchung, ob und wie die Gußapparate die Qualität des Gusses beeinflussen, wurden in dieser Arbeit die folgenden vier Gußapparate geprüft:

1. Die Handschleuder
2. Die Sirius-Horizontalschleuder
3. Die Degussa-Tiegelschleuder, bei der
 - a) im Kohletiegel mit Elektro-Schmelzanlage und
 - b) mit Schmelzmuldenhalter (Schamotte) geschmolzen wurde
4. Der Druckgußautomat Denta Olymp der Firma Metzдорff

Der Gebrauch der Handschleuder ist hinreichend bekannt, doch dürften die Ergebnisse bei ihr durch individuelle Geschicklichkeit und Kraft beeinflusst sein; sicherlich werden sich die Resultate aber beim Gießen in eine größere und schwerere Gußmuffel grundlegend verschlechtern.

Die Horizontalschleuder „Sirius“ erfordert vom Übergang aus der Vertikal- in die Horizontallage eine niedere Anfangsgeschwindigkeit, damit das geschmolzene Metall wegen des Beharrungsvermögens nicht herausgeschleudert oder richtiger gesagt die Form unter dem Metall weggezogen wird. In dieser Zeit der Verzögerung kann natürlich die Schmelze wieder zu Ungunsten des Gusses abkühlen.

Nach der Betriebsanleitung für die Degussa-Tiegelschleuder hat diese Schleuder sowohl für die Gasbeheizung wie für die elektrische Beheizung denselben Grundaufbau. In dem Gehäuse der Schleuder lagert eine starke Feder, die über einen Freilauf die vertikale Antriebsachse in eine schnelle Drehung versetzt. An der Antriebsachse ist der horizontale Schleuderarm befestigt, der auf einer Seite gelenkig ausgebildet ist und die Schmelzvorrichtung, den Kohletiegelhalter mit elektrischer Schmelzeinrichtung oder den Schmelzmuldenhalter trägt. Mit dem Halter für die Schmelzvorrichtung ist ein ver-

stellbarer Metallspiegel verbunden, der die Beobachtung des Schmelzgutes im Inneren des Kohletiegels ermöglicht. Die Tiegelschleuder wird durch drei- bis viermaliges Drehen des Schleuderarms im Uhrzeigersinn gespannt und durch Herabdrücken des an der Gehäusesseite angebrachten Hebels arretiert. Danach wird der Gelenkarm ebenfalls im Uhrzeigersinn bis zum Anschlag abgewinkelt.

Im richtig eingestellten Spiegel wird der Schmelzvorgang im Inneren des Tiegels beobachtet. Ist das Metall richtig geschmolzen, wird mit der linken Hand gegen den Griff der Küvettenauflage gedrückt, die Haltevorrichtung ausgerastet, so daß die Schleuder ausgelöst ist.

Beim Gießen mit dem Schmelzmuldenhalter werden die Schmelzmulden, in denen das Metall geschmolzen wird, vorher zusammen mit der Gußküvette im Vorwärmeofen aufgeheizt (Abb. 1 und 2).

Der Druckgußautomat Denta Olymp arbeitet automatisch mit Druckluft. Für kleinere und mittlere Güsse werden 2,5 atü, für große und dünne Güsse ca. 3,5 atü benötigt. Beim Guß mit dem Denta Olymp wird das Metall in der Gießmulde geschmolzen und das Oberteil mit dem Stempel durch den Handgriff langsam (Abb. 4c) an die Küvetten herangeführt. Ist der Gießmoment gekommen, so wird das Oberteil ruckartig gegen den Anschlag (Abb. 4k) gezogen (nicht langsam drücken). Dieses ruckartige Anschlagen bewirkt ein Öffnen des Querventils (Abb. 4h) und damit ein automatisches, blitzschnelles Heruntergehen des durchfeuchteten Asbeststempels. Unmittelbar nach dem hermetischen Abschluß der Gußküvette öffnet sich ebenfalls automatisch das Stempelventil, welches die aufgespeicherte Druckluft auf das flüssige Metall leitet und dieses in die Form preßt. Die Schmelzflamme wird bis zum letzten Augenblick auf das Schmelzgut gehalten, man schwenkt also gewissermaßen den Stempel in die Flamme hinein. Nach einer Wartezeit von etwa 30 Sekunden wird durch anhaltenden Druck auf den Knopf des Ablassventils (Abb. 4g) die Druckluft restlos abgelassen, wodurch der Stempel wieder in seine höchste Lage zurückkehrt und die Küvette freigibt (Abb. 3 und 4).

2. Die Herstellung der Güsse

Zur Untersuchung, ob und worin auffallende Unterschiede in der Gießqualität der 4 Gußapparate bestehen, wurden unter stets gleichbleibenden Bedingungen von jedem Apparat 10 zentrale Inlays (Abb. 5 und 6) und 10 Brückenzwischenglieder (Vollglieder) nach Phantommodellen gegossen. Bei der Degussa-Tiegelschleuder wurden die Güsse mit dem Kohletiegel und zum Vergleich mit dem Schamotte-Tiegel ausgeführt.

Die in einer Schablone hergestellten Wachsmodelle wurden mit Gußstiften versehen, die bei den kompakten Brückengliedern unter dem von BONSACK verlangten Winkel von 135° angebracht wurden. Die Gußstifte der grazileren Inlays konnten unter dem günstigeren Winkel von 155° angebracht werden, günstiger deshalb, weil die Schmelze ohne größere Richtungsänderung einschließen konnte. Die Forderung für das Anbringen der Gußkanäle:

1. Die Schmelze muß ohne Richtungsänderung einfließen können,
2. die Schmelze muß von dickeren Gußteilen zu dünneren fließen,
3. sie darf beim Einfließen keine Einbettmasse absprengen,

wurden erfüllt.

Die Stärke der Gußstifte mußte einheitlich 1,5 mm gewählt werden, da, abgesehen von der Horizontalschleuder, im Gußtrichter geschmolzen wurde, wenngleich auch für die Degussa-Tiegelschleuder Gußstiftstärken von 2,5 mm und mehr gefordert werden.

Der runde verlorene Kopf wurde gemäß den Forderungen von LOEBICH in den richtigen Dimensionen modelliert — er besaß $1/3$ der Größe des Gußobjekts. Der Hals zwischen v. K. und Gußobjekt besaß eine Länge von 0,5 mm und wurde auf die Stärke von 2 mm verbreitert.

Da die Form des Gußtrichters maßgeblich für die Höhe des Metalldrucks beim Gießen ist, wurde deren Öffnungswinkel durch genormte Gußtrichterschablonen gleich gehalten.

Beim Einbetten der Modelle wurde darauf geachtet, daß der v. K. in der heißesten Zone der Muffelmitte lokalisiert war und daß der Abstand Guß-

objekt zu Muffelende ca. 6 mm betrug. Somit ergab sich für die Inlaygüsse eine Gußstiftlänge von 11 mm, für die massiven Zwischenglieder eine Gußstiftlänge von 13,5 mm. Zum Einbetten diente die Einbettmasse „Kompens“, die, im verlangten Verhältnis 3 : 1 mit Wasser gemischt und gut durchgeteigt, in die mit Asbest ausgekleidete Muffel gerüttelt wurde. Zur Erzielung von Präzisionsgüssen müssen die Muffelringe innen mit einer 1 – 2 mm starken feuchten Asbestplatte ausgekleidet sein. Sie begünstigt die Expansion der Einbettmasse und hat den weiteren Vorteil, daß eingeschlossene Luft durch die Einbettmasse leichter entweichen kann (12).

Das Austreiben und Ausbrennen des Waxes geschah in einem Ausbrennofen bald nach der Abbindung der Einbettmasse, solange die Masse noch feucht war, wie es von FALCK WEIKART empfohlen wird. Anschließend wurden die so vorgewärmten Muffeln in einen auf 750⁰ erhitzten, elektrischen Muffelofen gestellt und dort eine Stunde belassen. So war eine gleichmäßige Erhitzung der Muffeln zum Guß gewährleistet.

Zum Guß wurden von der Firma Degussa für die Brückenzwischenglieder und die Inlays die Legierungen Degulor M und Degulor A zur Verfügung gestellt. *

Die Degulor-Legierungen sind Platingold-Legierungen, deren Eigenschaften den Vorschriften der ADA-Specification entsprechen. Die Schmelzintervalle für Degulor A sind 1060 – 960⁰ C, für Degulor M 970 – 900⁰ C.

Für den Guß wurden für jedes Objekt ein Überschuß von 4 g Edelmetall genommen. Mit der sauerstoffarmen reduzierenden Zone der Lötflamme wurden die Legierungen geschmolzen und 8 Sek. überhitzt, dann erfolgte der Guß mit den jeweiligen Gußapparaten.

* Ich möchte hier der Firma Degussa, insbesondere Herrn Dr. Wagner, für die freundliche Überlassung der Edelmetalle und die Unterstützung bei der Herstellung der Schiffe danken.

3. Die Auswertung

Da die Defekte, die durch Gaseinschlüsse oder durch Kontraktion auftreten, das Werkstück hinsichtlich seiner physikalischen Eigenschaften und Mundbeständigkeit gleichermaßen schädigen, wurden in dieser Arbeit diese Defekte nicht getrennt, sondern gemeinsam ausgewertet.

Alle Güsse waren gut ausgeflossen; da nur wenige Defekte mit dem bloßen Auge zu erkennen waren, wurden die Güsse unter der Lupe bei 16facher Vergrößerung geprüft. Alle Inlaygüsse waren glatt und zeigten nur gelegentlich kleine Defekte um den v. K. herum, die Gußstücke selbst waren insgesamt einwandfrei. Bei den Zwischengliedern waren jedoch zum Teil größere Lunker auffällig. Besonders bei den Güssen der Hand- und Siriusschleuder waren Porositäten und Lunker zu erkennen, die hauptsächlich im v. K. und im Hals lokalisiert waren, aber auch das Gußstück selbst betrafen und hier bis zu 2,5 – 3 mm große Hohlräume bildeten. Auffällig war bei den Güssen des Denta Olymp, daß die Flächen um den Gußkanal eine nicht geringe Oberflächenporosität aufwiesen. Bei den Güssen der Degussa-Tiegelschleuder schienen die mit dem Kohletiegel ausgeführten Güsse qualitativ etwas besser zu sein, als die mit dem Schamotte-Tiegel gegossenen; es waren hier, abgesehen von Lunkern im v.K., nur vereinzelt kleine Defekte im Gußobjekt (Abb. 7 – 17).

Zur genaueren Analyse der Güsse wurden von jedem Guß Schliffe hergestellt. Dazu wurden die Güsse jeweils genau in der Mitte durchgesägt, mit Schmirgelpapier geglättet und poliert. (Man geht dabei so vor, daß man mit groben Sorten beginnt und zu den feineren und feinsten dann übergeht, wenn die Schleifkratzer vom vorherigen Schmirgelpapier verschwunden sind. Besondere Sorgfalt ist dabei darauf zu verwenden, daß der Schliff vollkommen plan wird. Die Hochglanzpolitur geschieht auf Planscheiben, die mit Reinwolltuch bespannt sind, und als Poliermittel wird geschlämmte Tonerde von verschiedenen Feinheitsgraden verwendet.) Die Schliffe waren nun spiegelnd und kratzerfrei und konnten in dem Zustand unter einem Aufsichtsmikroskop begutachtet werden.

Die Schliffbilder der Inlays bestätigten, daß keine offensichtlichen Unterschiede in der Qualität der Güsse zu erkennen waren. Die Repräsentativ-Fotos

zeigen, daß keine Lunker auftraten, sondern nur vereinzelte Mikroporositäten.

Größere Unterschiede waren bei den Schliffen der Zwischenglieder zu erkennen. Hier traten zum Teil sehr große Lunker auf, die sich vom Hals bis in das Gußstück erstreckten. Die Zone der Makroporositäten breitete sich in unterschiedlicher Dicke und Ausdehnung im Einstromgebiet des Gußkanals zu den Randpartien des Gußobjektes aus. Die Makroporositäten der durch den Denta Olymp hergestellten Güsse waren feiner, reichten jedoch zum Teil sehr tief von der Oberfläche ins Gußinnere (Abb. 18).

Die mikroskopische Auswertung der Güsse der Zwischenglieder erfolgte getrennt nach Makroporositäten, deren prozentualer Anteil auf den Schliffen durch das Prinzip der Punktzählmethode ermittelt wurde und Mikroporositäten, die ausgezählt wurden.

Da die Makroporositäten nicht gleichmäßig im Gußstück auftraten, sondern hauptsächlich im Einstromgebiet des Gußkanals und an den Randpartien des Gußobjektes, wurden hier zur Durchführung des Punktzählverfahrens an jedem Schliff 8 gleichorientierte Meßfelder festgelegt, die das Gebiet lückenlos erfaßten. Mikrolunker wurden in diesem Gebiet gleichermaßen durch das Punktzählverfahren erfaßt.

Das übrige Gebiet auf den Schliffen war frei von Makroporositäten, hier waren unter dem Mikroskop nur wenige feine Poren zu erkennen, deren Größe zwischen 0,1 – 0,5 mm schwankte. Um nun ein genaues Maß für die Zahl und Größe der Mikrolunker jedes Schliffes zum Vergleich zu erhalten, wurde auf jedem Schliff ein gleichorientiertes Feld festgelegt, in dem die Zahl und Größe der Mikrolunker mit einem Meßmikroskop aufgezeichnet wurde (Abb. 19 und 20).

Bei der Auswertung der Inlaygüsse mußten nur Mikrolunker ausgezählt werden, da keine Makrolunker auftraten. Das Zählfeld erstreckte sich über den Schliff des ganzen Gußstückes.

4. Statistische Methode

Das Punktzählverfahren gestattet der wissenschaftlichen Mikroskopie überprüfbare quantitative Aussagen über den Beitrag gewisser Teilchen (Komponenten) zum Gesamtvolumen in mikroskopisch differenzierten Stoffen wie Gesteinen, Legierungen, Gewebsabschnitten usw. Der Grundgedanke der Flächenmessung durch Punktzählung ist einfach. Über das Präparat ist ein Punktnetz gelegt. Es leuchtet ein, daß man, um einen Näherungswert der dunklen Flächenteilchen zu bekommen, lediglich die Anzahl der Netzpunkte feststellen muß, die in die dunklen Flächenstückchen treffen. Entsprechend erhält man einen Näherungswert für das Flächenverhältnis, wenn man die Anzahl der Treffer durch die Gesamtpunktzahl dividiert. Wird das Netz gedreht oder verschoben, dann ergeben sich geringfügig veränderte Trefferzahlen, deren Mittelwert das gesuchte Flächenverhältnis genauer darstellt, als ein Einzelergebnis (Abb. 21).

Eine für die Praxis wichtige Frage ist noch die Wahl der günstigsten Vergrößerung. Es wird angestrebt, daß im Gesichtsfeld des Okulars möglichst das im Gesamtpräparat gegebene Flächenverhältnis vorliegen soll. Erfahrungsgemäß hat man diesen Fall, wenn der durchschnittliche Durchmesser der zu vermessenden Teilchen etwa gleich einem Netzpunktabstand ist. Bei dieser Vergrößerung lassen sich im allgemeinen auch Treffer mit Sicherheit feststellen (23).

Der prozentuale Anteil an Makroporositäten auf den Schliffen wurde durch dieses Prinzip der Punktzählmethode unter Verwendung des Integrationsokulars mit Platte I der Firma Zeiss ermittelt. Die Schliffe wurden bei 80facher Vergrößerung mit dem Punktgitter überdeckt und die Auszählung an den 8 gleichorientierten Meßfeldern bei verschieden orientierter Testplatte öfters wiederholt; dabei wurden durch das Drehen des Okulars um jeweils 15° 24 neue Stellungen der Meßpunkte in einem Meßfeld geschaffen und dadurch die Genauigkeit der Zählstatistik gesteigert.

Jeder der Gitterpunkte wurde als Treffer gezählt, wenn er eine Porosität überdeckte; nach der Zählung wurden die Treffer dieser Einzelkomponente für sich addiert und zur Summe sämtlicher Zählpunkte in Beziehung gebracht.

Entsprechend der Zahl der ausgeführten Güsse je Schleuder (10) ergaben sich bei 8 Meßstellen pro Guß 8 x 10 Meßergebnisse je Serie, die als Ausgangswerte für die statistischen Vergleiche zwischen den einzelnen Gußapparaten dienten. Dabei wurden die Meßergebnisse je eines gleichorientierten Meßfeldes der Serien zum Vergleich herangezogen. Die statistischen Vergleiche prüften, ob die Leistungen der 4 Gußapparate sich stärker, als man es bei Berücksichtigung der Versuchsstreuung erwarten kann, unterschieden. Es wurden für den gleichzeitigen Vergleich von je 5 Serien der Rangtest nach KRUSKAL und WALLIS (24) und für den Vergleich von je 2 Gruppen der Rangtest nach WILCOXON (24) ausgeführt.

Diese Rangteste sind an keinerlei Voraussetzung z. B. bezüglich der Verteilung der Ausgangswerte gebunden. Durch die gleichzeitige Prüfung mehrerer Gruppen mittels eines geeigneten Testes vermeidet man, daß durch häufige Wiederholung von Einzelvergleichen zwischen je 2 Gruppen zufällig (gewissermaßen im Rahmen der Irrtumswahrscheinlichkeit) signifikante Resultate auftreten. Auf die Begriffe „Signifikant“ und „Irrtumswahrscheinlichkeit“ wird unten noch zurückzukommen sein.

Ein solcher Test für die gleichzeitige Prüfung mehrerer Gruppen besagt bei positivem Ausfall, das heißt bei einem signifikanten Ergebnis, nur, daß irgendwo zwischen den Gruppen Unterschiede vorhanden sind. An welcher Stelle sie aber liegen, kann man aus ihm nicht zwingend entnehmen. Um dies festzustellen, müßte man streng genommen neue Untersuchungsreihen anstellen für den Vergleich von je 2 Gruppen, zwischen denen man signifikante Differenzen vermutet. Schon beim oberflächlichen Vergleich der Meßergebnisse waren große Unterschiede zu erwarten, während die beiden vermutlich besten Gußapparate keine oder nur geringe Unterschiede untereinander aufzuweisen schienen; daher habe ich die Prüfung zwischen allen Gußapparaten und zusätzlich zwischen den beiden besten Gußapparaten ausgeführt.

Da sich das Prinzip des Rangtestes am WILCOXON-Test leichter erklären läßt, soll mit seiner Darstellung an einem Beispiel begonnen werden.

Beispiel: Beim Vergleich der Durchschnittswerte zwischen Denta Olymp und Degussa-Tiegelschleuder (mit Elektro-Schmelzanlage) ergaben sich folgende Werte:

Vergleich der durchschnittlichen Meßwerte zwischen Denta Olymp und Degussa-Tiegelschleuder mit dem WILCOXON-Test

Denta Olymp		Tiegelschleuder	
(1)	(2)	(1)	(2)
Meßwert	Rangnummer	Meßwert	Rangnummer
5,01 %	16	3,96 %	13
2,85 %	9	1,21 %	2
3,92 %	12	1,01 %	1
1,98 %	6	2,67 %	8
8,85 %	20	2,05 %	7
7,11 %	19	2,96 %	10
3,31 %	11	1,84 %	4
6,12 %	18	4,55 %	14
1,96 %	5	5,03 %	17
1,81 %	3	4,58 %	15

$$S_1 = 119$$

$$S_2 = 91$$

Den Meß- bzw. Durchschnittswerten beider Serien werden Rangnummern (Spalte 2) zugeteilt und zwar dergestalt, daß der kleinste Meßwert die Nr. 1, der zweitkleinste die Nr. 2, der drittkleinste die Nr. 3 usw. und der größte die letzte Nummer erhält. Haben mehrere Meßwerte den gleichen Wert, dann wird an sie gleichmäßig der Mittelwert ihrer Anordnungszahlen vergeben. Die Numerierung erfolgt ohne Rücksicht darauf, ob der Wert in der ersten oder zweiten Serie steht. Aus den Rangnummern der kleineren Gruppe (bei gleicher Gruppengröße einer beliebigen Gruppe) wird die Summe S_1 gebildet.

Das Wesen der weiteren statistischen Prüfung kann man sich folgendermaßen veranschaulichen; wenn man wie im Beispiel aus einer Reihe von 20 Rangnummern (10 Rangnummern des Denta Olymp-Gußapparates und 10 Rangnummern der Degussa-Tiegelschleuder) sehr oft 10 Rangnummern zufällig entnehmen und die Summe dieser zufällig entnommenen Rangnummern

bilden würde, dann würden, kombinatorisch bedingt, bestimmte Rangnummern oft, andere selten, wieder andere sehr selten auftreten. Man prüft, ob die vorliegende Rangsumme der Degussa-Tiegelschleuder zu den selten auftretenden Summen gehört. Wenn dies der Fall ist, wird die Hypothese zufälliger Entnahme abgelehnt.

Bei Vorliegen einer Irrtumswahrscheinlichkeit von höchstens 1 % betrachten wir eine Differenz als signifikant. Wenn z. B. viele Werte der einen Serie im Vergleich zu denen der anderen Serie klein sind, dann erhalten sie kleine Rangnummern. Die Rangsumme S_1 wird dann klein ausfallen. Weicht die Rangsumme so stark von der Erwartung (Durchschnittswert der Rangnummern bei zufälliger Entnahme) ab, daß eine Abweichung gleicher Größe nach unten oder oben zufällig nur in höchstens 1 % vorkommt, wird die Zufallshypothese abgelehnt.

Mit S wurde zur Prüfung der Signifikanz in eine Tabelle der Vertrauensgrenzen für die Rangsummen des WILCOXON-Tests eingegangen (25).

Der Rangtest von KRUSKAL und WALLIS baut auf dem gleichen Prinzip auf. Die Rangnummern werden hier jedoch an mehr als 2 Gruppen gleichzeitig vergeben. Die Testgröße wird berechnet nach

$$T = \frac{12}{n \times (n+1)} \sum_{i=1}^k \frac{S_i^2}{n_i} - 3(n+1)$$

K = Zahl der Gruppen

n_i = Zahl der Fälle in der Gruppe i

n = Zahl der Fälle insgesamt

S_i = Rangsumme der Gruppe i

T ist χ^2 verteilt mit $K-1$ Freiheitsgraden

Da der Rangtest nach WILCOXON keine statistisch gesicherten Unterschiede zwischen dem Denta Olymp-Gußapparat und der Degussa-Tiegelschleuder nachwies, wurde geprüft, ob Unterschiede zwischen den Meßergebnissen der Meßstellen rechts und links des Gußkanals vorlagen. Man konnte annehmen, daß keine oder nur geringe Unterschiede vorlagen, da die Wahl der Meßstel-

len symmetrisch zum Gußkanal erfolgte. Diese Annahme bestätigte der Vorzeichen-Rangtest von WILCOXON. Dabei wurde im Prinzip so vorgegangen, daß die Differenzbeträge der Meßergebnisse der korrespondierenden Meßstellen rechts und links des Gußkanals ohne Rücksicht auf ihre Vorzeichen mit Rangziffern versehen wurden. Beträge von ± 0 wurden nicht berücksichtigt.

Die Summe der negativen bzw. positiven Rangzahlen wurde berechnet und nach der Formel

$$C = S - \frac{n(n+1)}{2}$$

mit den tabellierten C-Werten verglichen, die eine Irrtumswahrscheinlichkeit von höchstens 1 % garantieren.

S = Summe der Rangzahlen des seltener auftretenden Vorzeichens

n = Zahl der Vorzeichen einer Serie (0-Differenzen werden weggelassen)

Da keine Unterschiede zwischen den Meßstellen rechts und links des Gußkanals statistisch zu beweisen waren, wurde mit den jeweiligen Durchschnittswerten der korrespondierenden Meßstellen wiederum der Rangtest nach WILCOXON für unverbundene Stichproben durchgeführt, wobei durch Zusammenfassung der Ergebnisse von je 2 korrespondierenden Meßstellen die Versuchsstreuung vermindert wurde.

Die Messungen der Mikrolunker und Makrolunker in den Güssen der Inlays und Zwischenglieder ergaben folgende Werte:

Tabelle 1

Denta Olymp	Degussa-Tiegelschleuder elektrisch	Degussa-Tiegelschleuder Schamotte	Sirius	Handschleuder
5,30	4,50	3,10	9,25	4,20
4,60	8,90	5,70	5,10	12,45
8,35	4,55	7,90	7,95	4,45
10,05	2,20	4,55	2,90	4,10
2,55	9,75	2,45	2,30	2,75
6,55	4,60	5,95	3,40	12,05
8,85	11,85	2,50	8,05	2,00
9,90	2,80	3,15	7,85	3,70
2,60	4,95	8,75	9,45	4,90
2,25	2,35	12,40	3,45	7,80

Summe der Mikroporositäten der Inlaygüsse (in mm)

Nach dem Rangtest nach KRUSKAL und WALLIS waren hier keine statistisch gesicherten Unterschiede festzustellen

Denta Olymp	Degussa-Tiegelschleuder elektrisch	Degussa-Tiegelschleuder Schamotte	Sirius	Handschleuder
21,50	32,50	38,50	26,50	23,00
12,00	43,00	35,00	15,50	77,50
31,00	5,50	42,50	54,50	34,00
59,50	27,00	28,50	46,50	41,50
46,00	54,50	42,00	39,00	37,00
48,50	41,00	17,50	24,50	34,50
43,50	43,00	49,00	67,50	38,00
33,50	37,50	27,50	64,00	36,00
36,50	39,50	35,50	24,50	40,00
20,50	17,00	18,50	12,50	19,50

Summe der Mikroporositäten der Güsse der Zwischenglieder (in mm)

Nach dem Rangtest nach KRUSKAL und WALLIS waren hier keine statistisch gesicherten Unterschiede festzustellen

Tabelle 3

Denta Olymp	Degussa-Tiegelschleuder elektrisch	Degussa-Tiegelschleuder Schamotte	Sirius	Handschleuder
6,32	8,68	11,84	43,00	25,32
8,00	1,32	10,68	29,32	42,32
5,00	5,68	18,68	29,52	9,50
4,16	2,00	22,32	42,00	30,00
12,00	1,68	24,16	15,32	51,32
15,84	4,68	21,68	31,16	29,32
0,84	6,00	8,68	28,00	42,32
3,32	17,00	12,00	38,00	40,84
1,68	7,68	62,32	9,68	36,32
2,68	12,68	6,32	28,16	38,00

Prozentuale Anteile an Makroporositäten und Mikroporositäten an Meßstelle Ia
(mit dem Integrationsverfahren gemessen)

Tabelle 4

Denta Olymp	Degussa-Tiegelschleuder elektrisch	Degussa-Tiegelschleuder Schamotte	Sirius	Handschleuder
3,68	8,68	10,68	18,00	11,84
2,68	1,00	5,32	16,16	12,00
6,64	1,68	1,68	10,00	2,43
5,68	2,00	9,32	32,52	15,84
9,16	1,00	6,32	11,68	5,00
9,68	3,32	10,00	10,00	15,00
1,16	4,00	52,84	16,00	15,84
3,32	10,68	5,00	15,32	17,00
2,68	5,68	16,00	7,68	20,32
1,32	3,32	7,00	5,68	21,68

Prozentualer Anteil an Makroporositäten und Mikroporositäten an Meßstelle Ib
(mit dem Integrationsverfahren gemessen)

Tabelle 5

Denta Olymp	Degussa-Tiegelschleuder elektrisch	Degussa-Tiegelschleuder Schamotte	Sirius	Handschleuder
6,00	1,00	3,32	3,68	8,16
0,00	1,00	2,32	30,68	6,32
11,52	0,00	2,00	5,00	1,42
4,00	0,68	3,32	24,52	0,00
9,00	1,00	1,68	10,00	4,00
8,00	2,68	2,32	4,32	10,00
3,32	1,68	36,52	11,84	5,32
6,00	1,32	0,68	3,00	6,32
3,00	6,68	2,00	8,68	12,16
1,68	3,68	1,16	2,68	11,32

Prozentualer Anteil an Makroporositäten und Mikroporositäten an Meßstelle Ic
(mit dem Integrationsverfahren gemessen)

Tabelle 6

Denta Olymp	Degussa-Tiegelschleuder elektrisch	Degussa-Tiegelschleuder Schamotte	Sirius	Handschleuder
5,68	1,68	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	7,84	0,00
4,16	0,00	0,00	0,00	0,00
2,00	0,68	1,16	9,00	0,00
21,68	0,00	0,00	3,16	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2,00	2,00	0,61	4,32	6,32
5,32	0,00	0,00	0,00	3,68
1,16	1,00	1,32	11,32	0,00
0,00	1,68	1,00	0,00	0,00

Prozentualer Anteil an Makroporositäten und Mikroporositäten an Meßstelle Id
(mit dem Integrationsverfahren gemessen)

Tabelle 7

Denta Olymp	Degussa-Tiegelschleuder elektrisch	Degussa-Tiegelschleuder Schamotte	Sirius	Handschleuder
12,04	2,32	5,32	32,00	6,64
4,68	1,00	7,84	18,00	39,68
4,00	0,68	28,84	22,68	9,50
0,00	6,00	19,00	16,16	19,32
3,32	7,68	14,32	26,68	35,86
12,00	6,00	10,00	12,84	19,32
5,32	0,00	0,00	14,32	11,84
9,68	3,00	4,16	44,00	21,00
6,00	8,68	4,00	5,32	29,00
3,32	6,68	11,32	21,68	24,16

Prozentualer Anteil der Makroporositäten und Mikroporositäten an Meßstelle 2a

(mit dem Integrationsverfahren gemessen)

Tabelle 8

Denta Olymp	Degussa-Tiegelschleuder elektrisch	Degussa-Tiegelschleuder Schamotte	Sirius	Handschleuder
6,32	4,32	4,00	3,68	3,32
2,00	1,68	2,00	6,00	13,52
0,00	0,00	1,68	7,00	1,75
0,00	7,68	2,68	17,68	7,68
10,32	4,00	10,32	7,00	4,68
6,64	4,00	3,32	7,64	6,32
5,68	0,68	0,61	2,32	4,68
10,32	0,68	3,32	23,32	5,32
1,16	6,32	0,84	7,32	17,00
2,32	4,00	13,32	11,32	11,84

Prozentualer Anteil an Makroporositäten und Mikroporositäten an Meßstelle 2b
(mit dem Integrationsverfahren gemessen)

Tabelle 9

Denta Olymp	Degussa-Tiegelschleuder elektrisch	Degussa-Tiegelschleuder Schamotte	Sirius	Handschleuder
0,00	4,00	1,16	0,00	0,00
5,32	3,68	4,00	0,00	7,84
0,00	0,00	0,00	3,68	0,00
0,00	2,32	0,84	8,68	0,00
4,68	3,00	0,00	0,00	7,32
8,16	0,32	1,16	0,00	0,00
6,32	3,68	0,00	1,16	3,32
0,00	3,32	0,00	0,00	11,00
4,16	3,32	3,32	4,00	0,00

Prozentualer Anteil an Makroporositäten und Mikroporositäten an Meßstelle 2c
(mit dem INtegrationsverfahren gemessen)

Tabelle 10

Denta Olymp	Degussa-Tiegelschleuder elektrisch	Degussa-Tiegelschleuder Schamotte	Sirius	Handschleuder
0,00	1,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	5,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
4,68	0,00	0,00	0,00	0,00
0,00	0,84	0,00	0,00	0,00
0,00	1,32	0,00	0,00	0,00

Prozentualer Anteil an Makroporositäten und Mikroporositäten an Meßstelle 2d
(mit dem Integrationsverfahren gemessen)

Tabelle 11

Denta Olymp	Degussa-Tiegelschleuder elektrisch	Degussa-Tiegelschleuder Schamotte	Sirius	Handschleuder
5,01	3,96	4,54	12,55	6,91
2,85	1,21	4,65	13,50	15,21
3,92	1,01	6,61	9,47	12,50
1,98	2,67	7,33	18,95	10,86
8,85	2,05	7,52	9,23	12,61
7,11	2,96	5,92	8,25	12,16
3,31	1,84	12,55	9,60	10,92
6,12	4,55	3,15	15,60	12,19
1,96	5,03	10,81	6,25	15,73
1,81	4,58	5,43	9,19	13,38

Prozentuale Anteile der Durchschnittswerte an Makroporositäten und Mikroporositäten
(mit dem Integrationsverfahren gemessen)

Tabelle 12

Denta Olymp	Degussa-Tiegelschleuder elektrisch
9,18	5,50
6,34	1,16
4,50	3,18
2,08	4,00
7,66	4,68
13,92	5,34
3,08	3,00
6,50	10,00
3,84	8,18
3,00	9,68

Durchschnittswerte der Makroporositäten und Mikroporositäten an Meßstelle
Ia und IIa

Denta Olymp	Degussa-Tiegelschleuder elektrisch
5,00	6,50
2,34	1,34
3,32	0,84
2,84	4,84
9,74	2,50
8,16	3,66
3,42	2,34
6,82	5,68
1,92	5,00
1,82	3,66

Durchschnittswerte der Makroporositäten und Mikroporositäten an Meßstelle
Ib und IIb

Tabelle 13

Denta Olymp	Degussa-Tiegelschleuder elektrisch
3,00	2,50
2,66	2,34
5,76	0,00
2,00	1,50
7,16	1,00
6,34	2,84
5,74	1,00
6,16	2,50
1,50	5,00
2,92	3,50

Durchschnittswerte der Makroporositäten und Mikroporositäten an Meßstelle
Ic und IIc

Denta Olymp	Degussa-Tiegelschleuder elektrisch
2,84	1,34
0,00	0,00
2,08	0,00
1,00	0,34
10,84	0,00
0,00	0,00
1,00	1,00
5,00	0,00
0,58	0,92
0,00	1,50

Durchschnittswerte der Makroporositäten und Mikroporositäten an Meßstelle
Id und IId

5. Messungen der Zentrifugalkraft und der Beschleunigung

Um die Ursache der unterschiedlichen Ergebnisse bei der Benützung der Zentrifugalapparate herauszufinden, wurden anschließend noch Messungen der Zentrifugalkraft und der Beschleunigung der drei Zentrifugalapparate durchgeführt.

Hierzu konstruierten wir uns eine Apparatur, die es uns ermöglichte, die Zahl der Umdrehungen einer Schleuder genau zu messen. Diese Apparatur bestand aus einer Lichtschranke; ein feiner, scharfer Lichtstrahl mußte bei jeder Umdrehung durch eine auf der Schleuder aufmontierte Blende unterbrochen werden. Diese kurze Unterbrechung des Lichtes wurde von einer Fotozelle registriert und dabei von einem angeschlossenen Zählwerk aufgezeichnet.

Es wurde nun so vorgegangen, daß mit einer Stoppuhr die Zeit gemessen wurde, die die Schleuder für jeweils 5 Umdrehungen benötigte. Mit den Meßwerten der Umdrehungen und der dafür benötigten Zeit ließen sich die Beschleunigungen der Schleudern nach der Formel

$$w = \frac{U}{t} = \frac{1}{t/U}$$

errechnen.

w = Beschleunigung

U = Umdrehungen

t = Zeit (sec)

Die Zentrifugalkraft und deren Anstieg ließ sich nach der Formel

$$kz = m \times w^2 \times r$$

berechnen.

m = Masse

r = Radius der Schleuder

(Da die Masse m , das heißt die Edelmetallmenge jeweils gleich blieb, konnte sie außer acht gelassen werden.)

Die Radien für die drei Schleudern waren:

für die Degussa-Tiegelschleuder	26 cm
für die Sirius-Schleuder	33 cm
für die Handschleuder	47 cm

Um eine möglichst große Genauigkeit des Ergebnisses zu erzielen, wurden die Messungen für jede Schleuder 20mal durchgeführt und der Durchschnittswert für die Berechnung der Zentrifugalkraft und deren Anstieg herangezogen.

Tabelle 14

U	sec.	w^2	$w^2 \times r$
0 – 5	0,71	0,496	12,896
5 – 10	0,62	0,652	16,952
10 – 15	0,65	0,591	15,366
15 – 20	0,75	0,446	11,596
20 – 25	0,89	0,316	8,216
25 – 30	1,02	0,245	6,370
30 – 35	1,14	0,193	5,018
35 – 40	1,22	0,168	4,368
40 – 45	1,32	0,144	3,744
45 – 50	1,37	0,133	3,458

Durchschnittswerte der Messungen für die Degussa-Tiegelschleuder

U	sec.	w^2	$w^2 \times r$
0 – 5	2,14	0,055	1,705
5 – 10	0,63	0,629	20,757
10 – 15	0,51	0,960	31,680
15 – 20	0,49	1,040	33,320
20 – 30	1,09	0,841	27,753
30 – 40	1,23	0,661	21,813
40 – 50	1,42	0,496	16,368
50 – 60	1,72	0,338	11,154
60 – 70	1,90	0,277	9,141
70 – 80	2,14	0,219	7,227

Durchschnittswerte der Messungen für die Sirius-Schleuder

Mit der Handschleuder werden in 1,6 – 1,8 sec. 5 Umdrehungen ausgeführt.

U	sec.	w^2	$w^2 \times r$
5	1,7	0,139	6,533

Graphische Darstellung der Zentrifugalkraft

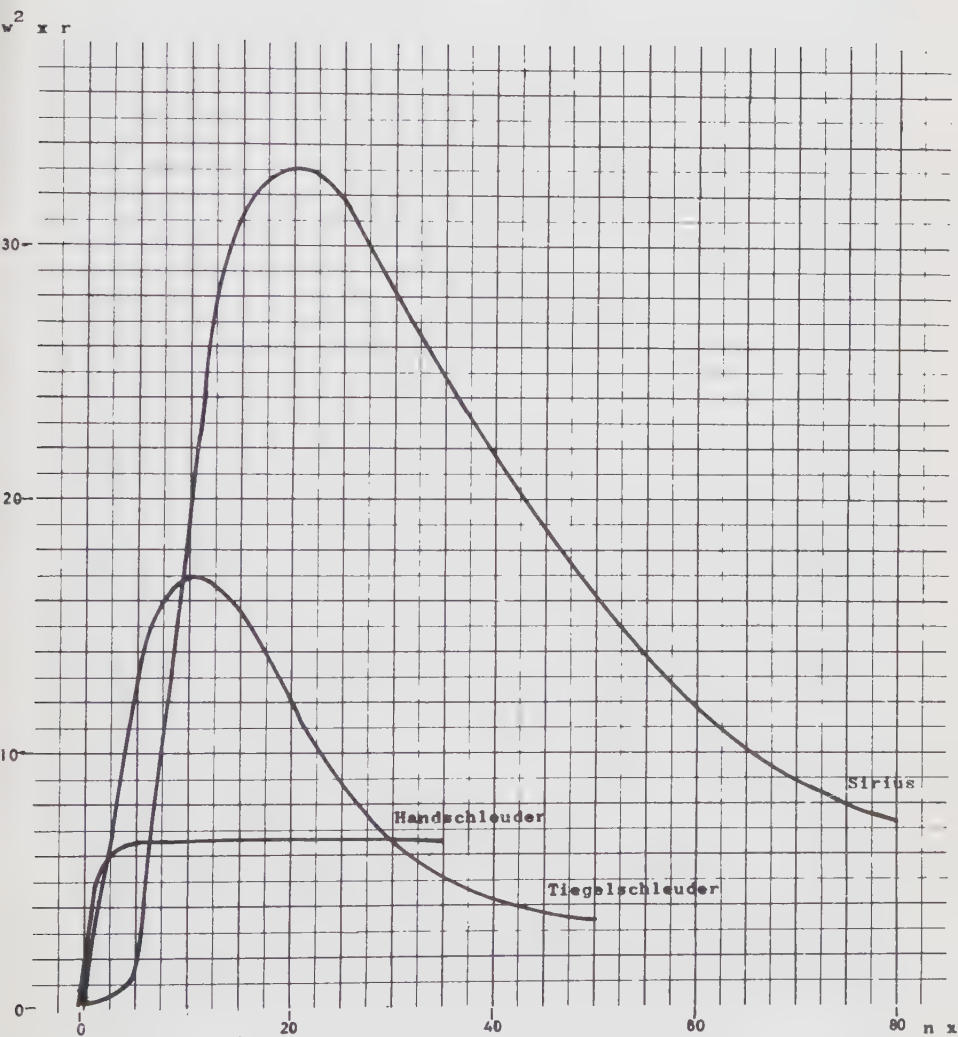


Abb. 22

Graphische Darstellung der Beschleunigung

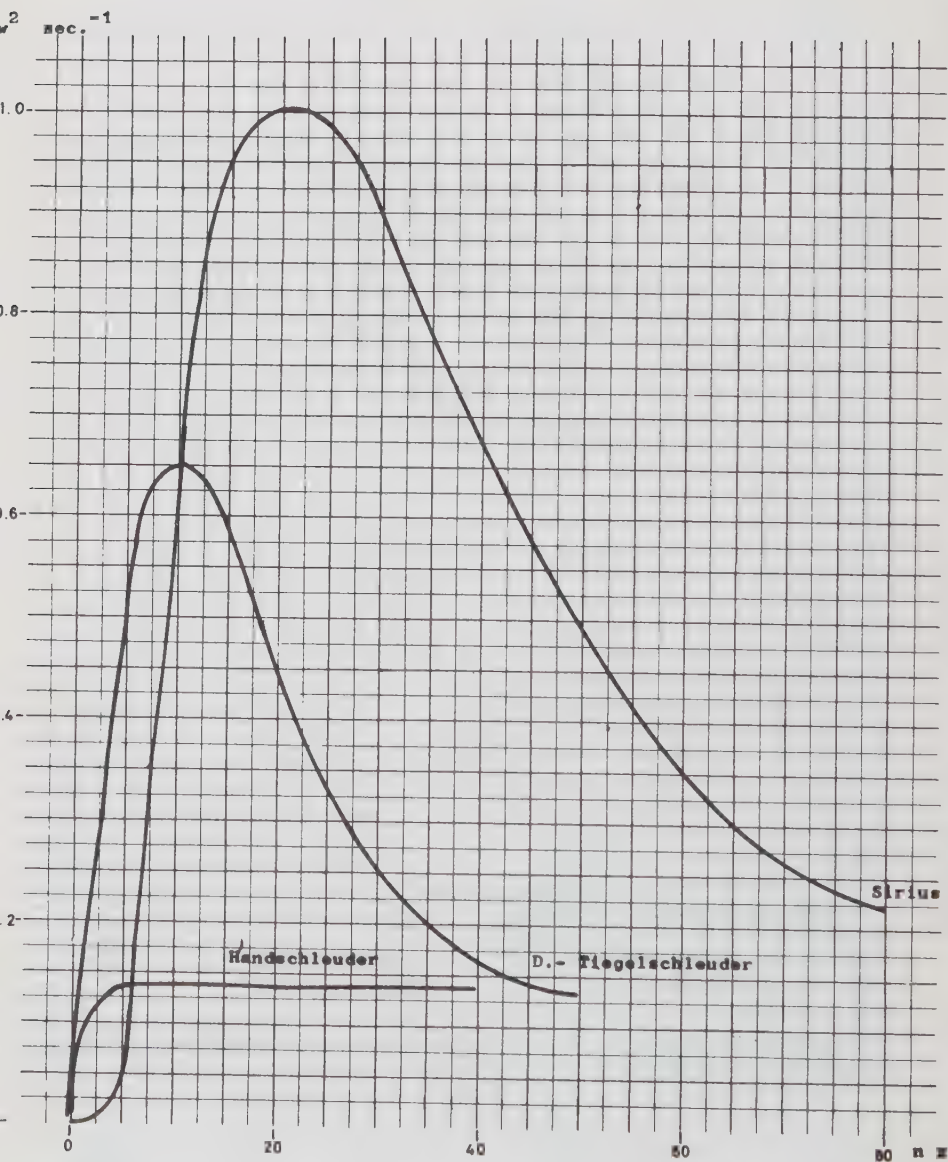


Abb. 23

D. RESULTATE UND SCHLUSSFOLGERUNGEN

Die Unterschiede beim Auftreten von Mikroporositäten in den Inlaygüssen waren so gering, daß sie statistisch mit dem KRUSKAL-WALLIS-Test nicht festzustellen waren (Tabelle 1). Makrolunker traten nicht auf, so daß ausgesagt werden kann, daß alle Gußapparate die Bedingungen zum vollständigen Ausfließen und Nachsättigen eines kleinen Gusses erfüllen.

Bei den größeren Güssen der Zwischenglieder waren jedoch Unterschiede beim Auftreten von Makroporositäten statistisch nachzuweisen, während auch hier beim Auftreten von Mikroporositäten statistisch keine Unterschiede festzustellen waren (Tab. 2 – 11). Es kann daher gesagt werden, daß die Wahl der Gußapparate unter den durch die Versuchsanordnung gegebenen Bedingungen keinen Einfluß auf die Vermeidung von Mikroporositäten besitzt, jedoch auf die Vermeidung von Makroporositäten.

Hier zeigten sich die beiden Gußapparate Denta Olymp und Degussa-Tiegelschleuder mit elektrisch beheiztem Kohletiegel den anderen Gußapparaten überlegen. Die Prüfung, ob sich diese beiden Gußapparate in ihrer Gießqualität unterscheiden, ergab, daß bei ihnen nach dem WILCOXON-Test für unverbundene Stichproben statistisch keine Unterschiede festzustellen waren; auch nach Zusammenfassung der Ergebnisse von je zwei korrespondierenden Meßstellen zur Verminderung der Versuchsstreuung waren nach diesem Test keine Unterschiede statistisch zu beweisen (Tabelle 12 und 13).

Dennoch möchte ich der Tiegelschleuder hier den Vorzug geben, denn abgesehen davon, daß die Gußmuffel zugunsten des Gusses erst kurz vor dem eigentlichen Guß aus dem Muffelofen genommen werden muß, bietet diese Schleuder den Vorteil des indirekten Schmelzens des Gußgutes. Im Kohletiegel ist eine Überhitzung praktisch ausgeschlossen (damit werden Grobkristallisation und Inhomogenität weitgehend vermieden), und in dieser reduzierenden Atmosphäre kann das Schmelzgut weder oxydieren, noch kann es schädliche Gase aufnehmen.

Die Beschleunigungskurven (Abb. 22 und 23), (Tabelle 14) der Hand-, Sirius- und Degussa-Tiegelschleuder zeigen deutlich, daß die Tiegelschleuder den beiden

anderen Schleudern hinsichtlich der Beschleunigung überlegen ist. Die Sirius-Schleuder entwickelt zwar eine wesentlich höhere Zentrifugalkraft, doch kann ausgesagt werden, daß die Qualität einer Schleuder nicht so sehr von der tatsächlichen Zentrifugalkraft abhängt, sondern ganz besonders von ihrem Beschleunigungsvermögen. Das kann erklärt werden: Da der Guß wie schon früher beschrieben schon nach 0,1 — 0,2 sec. ausgeflossen ist, muß die Schleuder unbedingt in der Initialphase des Gusses eine große Beschleunigung ermöglichen, und diese Bedingung erfüllt die automatische Tiegelschleuder besser als die beiden anderen Schleudern.



Abb. 1
Degussa-Tiegelschleuder

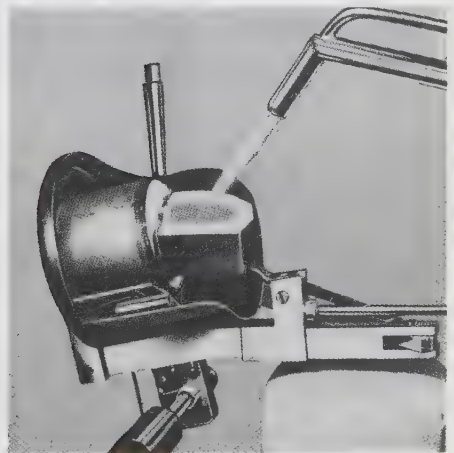


Abb. 2
Degussa-Tiegelschleuder
mit Schamottetiegel



Abb. 3 – Denta Olymp, Gußautomat der Firma Metzдорff

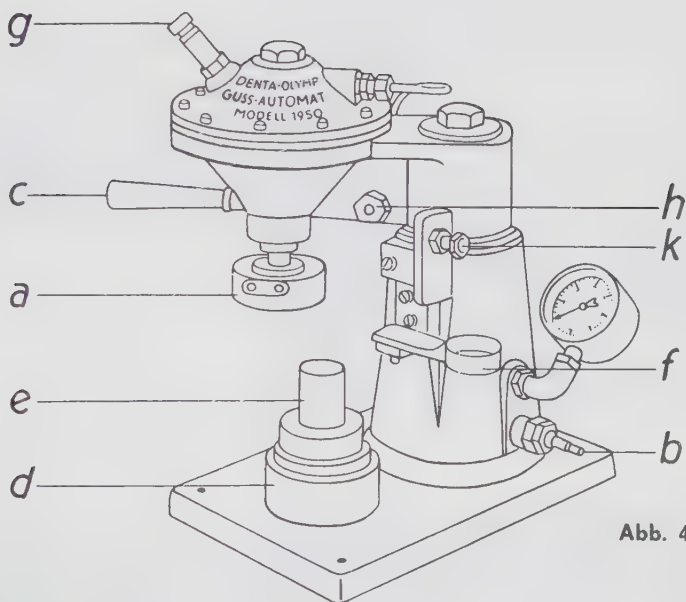


Abb. 4

- | | |
|--|--|
| a) Abnehmbares Stempel-Unterteil mit angefeuchteter großer Asbestscheibe | e) Gußküvette |
| b) Ventil zum Aufpumpen | f) Platzierungsmarke |
| c) Handgriff zum Herumschwingen des beweglichen Oberteils gegen d. Anschlag k) | g) Ablassventil (zum Ablassen der Luft nach erfolgtem Guß) |
| d) Untersätze für kleine und mittlere Gießtormen | h) Querventil |
| | k) Anschlag zum Aufstoßen des Querventils |

Abb. 4 – Skizze für die Betriebsanleitung des Denta Olymp



Abb. 5



Güsse eines massiven
Zwischengliedes
und Inlays

Vergrößerung ca. zweifach

Abb. 6

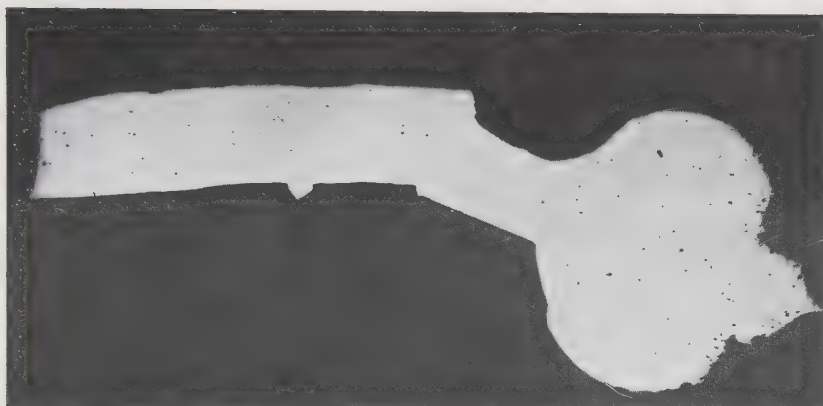


Abb. 7 – Inlayguß durch die Handschleuder, Vergrößerung 8fach

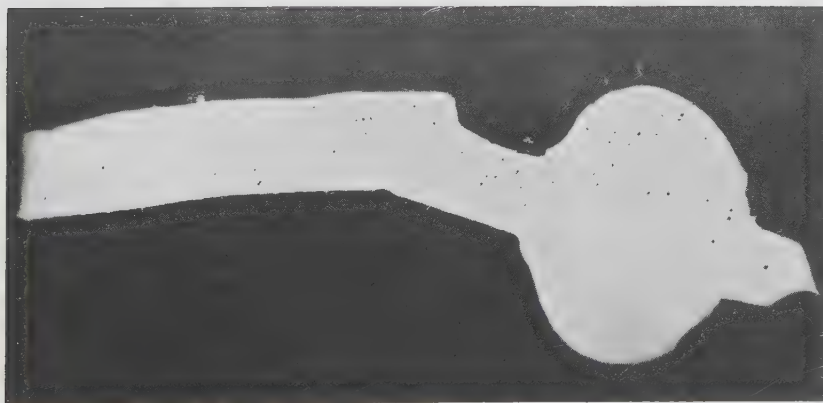


Abb. 8 – Inlayguß durch die Sirius-Schleuder, Vergrößerung 8fach

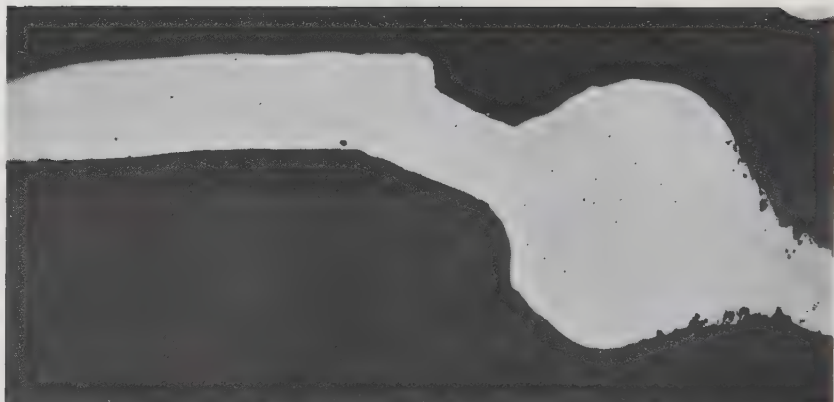


Abb. 9 — Inlayguß durch die Degussa-Tiegelschleuder (elektrisch)
Vergrößerung 8fach

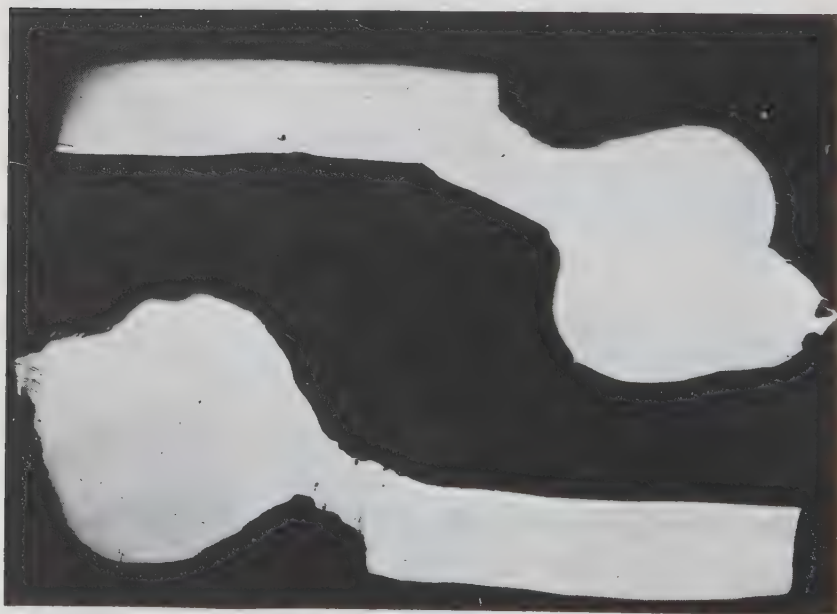


Abb. 10 — Inlayguß durch die Degussa-Tiegelschleuder (Schamotte)
Vergrößerung 8fach

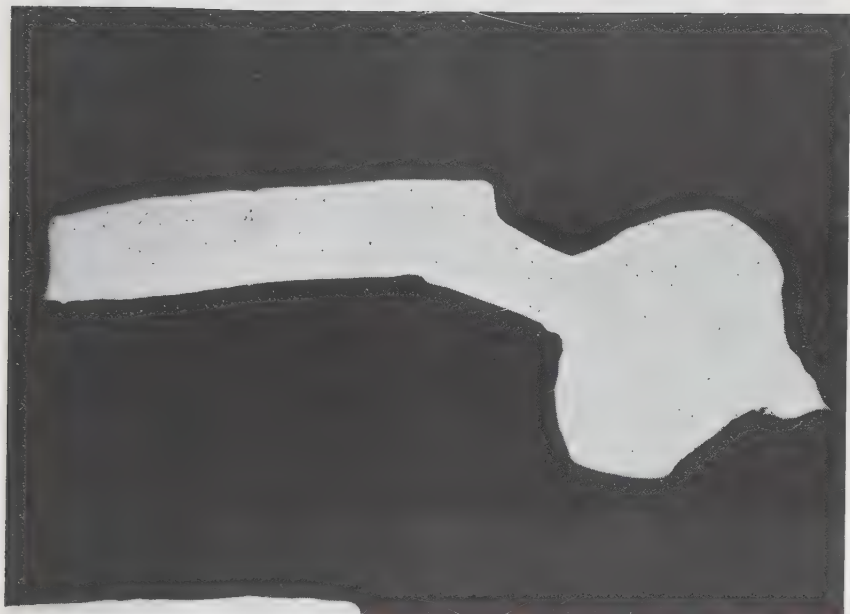


Abb. 11 — Inlayguß durch den Denta Olymp
Vergrößerung 8fach



Abb. 12 – Zwischengliedguß durch die Handschleuder
Vergrößerung 7fach



Abb. 13 – Zwischengliedguß durch die Sirius-Schleuder
Vergrößerung 7fach



Abb. 14 – Zwischengliedguß durch die Degussa-Tiegelschleuder (elektrisch)
Vergrößerung 7fach



Abb. 15 – Zwischengliedguß durch die Degussa-Tiegelschleuder (Schamotte)
Vergrößerung 7fach



Abb. 16 — Zwischengliedguß durch den Denta Olymp
Vergrößerung 7fach



**Abb. 17 – Stärkere Verunreinigungen bei einem durch die Degussa-Tiegel-
schleuder mit Schamotte-Tiegel begossenen Zwischengliedguß
Vergrößerung 50fach**



Abb. 18 – Makroporositäten an der Oberfläche eines durch den Denta Olymp
hergestellten Zwischengliedgusses

Vergrößerung 50fach

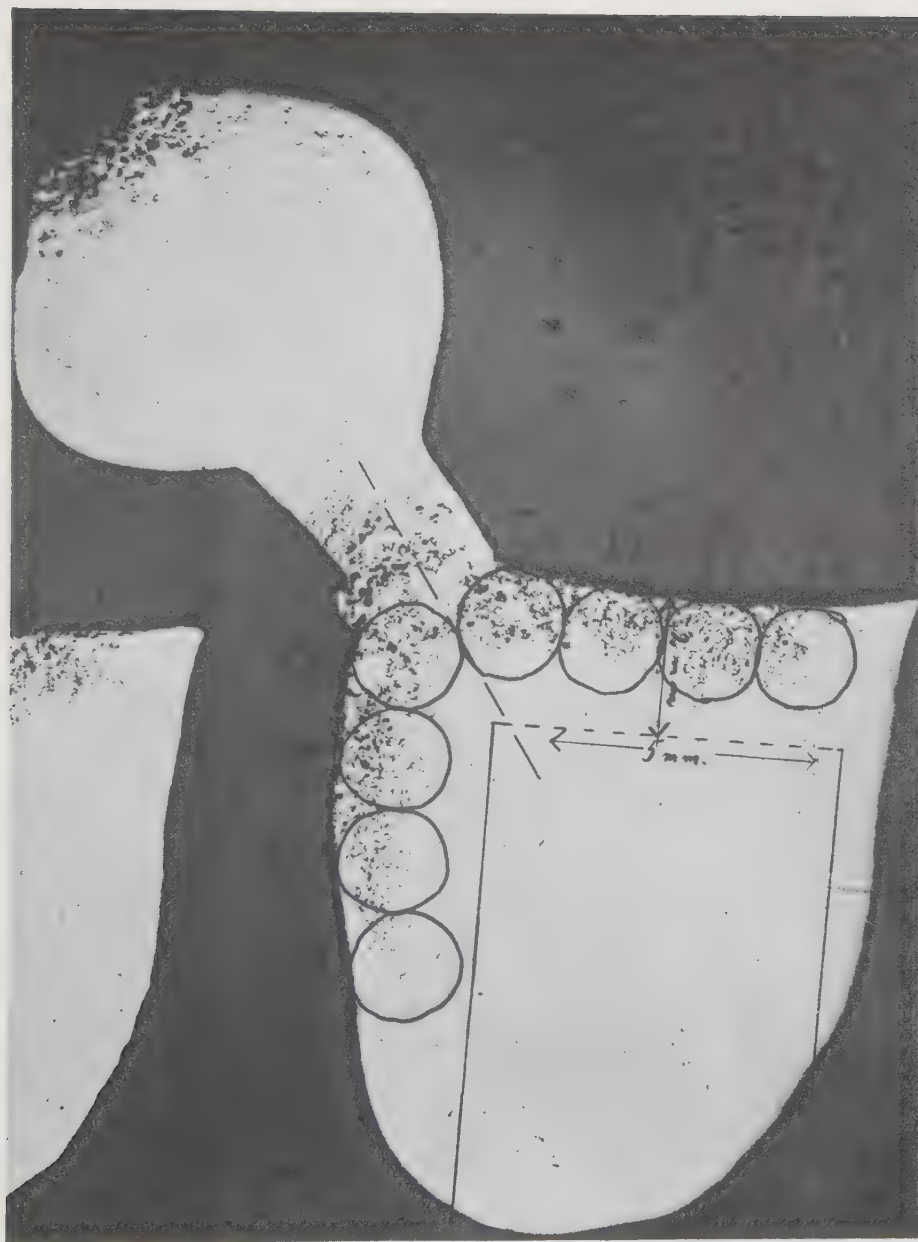


Abb. 19 – Skizze für die Einteilung der Meßfelder für das Integrationsverfahren und des Meßfeldes für die Auszählung der Mikrolunker, Vergrößerung ca. 9fach

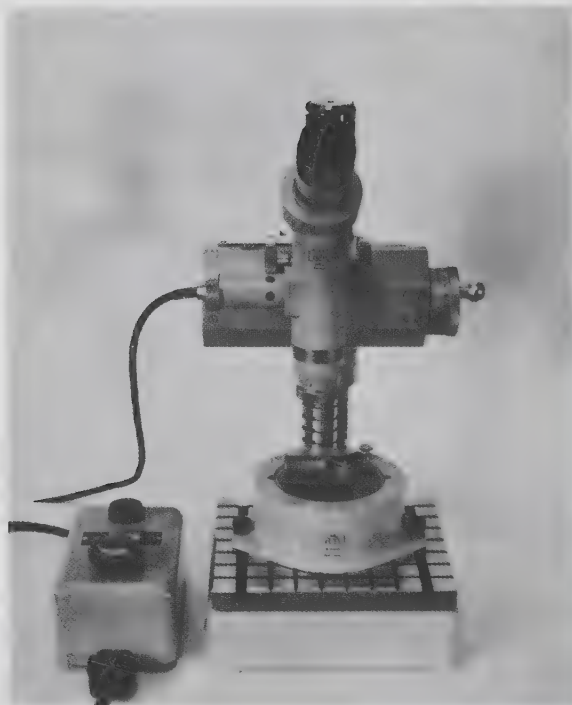
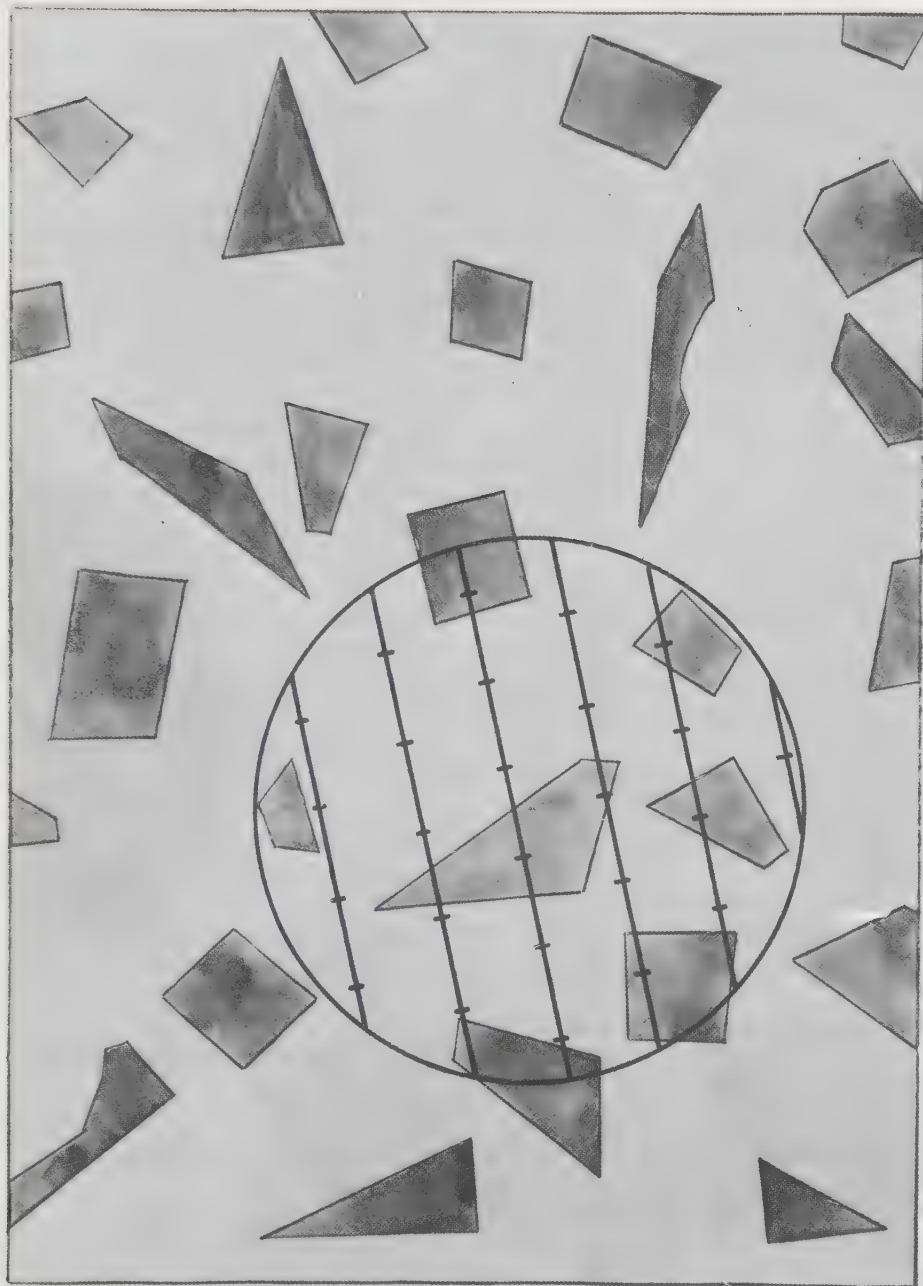


Abb. 20 — Meßmikroskop der Firma C. Zeiss



E. LITERATURVERZEICHNIS

1. **BONSACK, CH.** Der heutige Stand des Gußproblems
Dtsch. zahnärztl. Z. **8**, 5, 67 (1953)
2. **FALCK, K.** Werkstoffkunde für Zahnärzte
WEIKART, P. Carl Hanser Verlag, München, 87 (1959)
3. **FRITSCH, C.** Das Gießen mit dem verlorenen Kopf
ELBRECHT. Zahnärztl. Rdschr. **39**, 709 (1930)
NOWACK, L.
4. **SCHMITT, K. H.** Die Vermeidung von Fehlern und Mißerfolgen bei Metallgüssen
Dtsch. zahnärztl. Z. **4**, 1432, 1496 (1949)
5. **Degussa-Brief** Nr. 10, August (1930)
6. **Degussa-Brief** Nr. 20/21, Februar (1954)
Schmelzeinrichtungen
7. **Degussa-Brief** Nr. 22 (1954)
Wie bekommt man dichte, lunkerfreie Güsse?
8. **Degussa-Brief** Nr. 23, September (1955)
Das Anbringen von Gußkanälen I. Teil
9. **Degussa-Brief** Nr. 24, Januar (1956)
Das Anbringen von Gußkanälen II. Teil
10. **Degussa-Brief** Nr. 37, Oktober (1965)
Wie vermeidet man Verfärbungen an Goldlegierungen im Munde?
11. **KYSELOVA, J.** Kontraktionsdefekte der Dentalgüsse und
KYSELA, B. Möglichkeiten ihrer Beseitigung
MARES, J. Dtsch. zahnärztl. Z. **13**, 1310 (1958)

12. KYSELOVA, J.
Kyselá, B.
Mares, J. Der Einfluß der Gußapparate auf das Vorkommen der Defekte in Dentalgüssen
Schweiz. Mschr. Zahnheilk. **69**, 403 (1959)
13. LOEBICH, O. Der Lunker und seine Vermeidung
Dtsch. zahnärztl. Z. **8**, 1037 (1953)
14. LOEBICH, O. Das Gefüge von Goldgußarbeiten
Dtsch. zahnärztl. Z. **8**, 1149 (1953)
15. WAGNER, E. in K. Eichner, Leitfaden zahnärztlicher Werkstoffe und ihrer Verarbeitung,
Berlin, 155 (1960)
16. WAGNER, E. Metallkundliche Betrachtung des Gießens von Goldlegierungen
Zahnärztl. Prax. **9**, 201 (1958)
17. HOLLENBACK, G.M.
SKINNER, E.W. Shrinkage during casting of gold alloys
J. Amer. dent. Ass. **33**, 1390 (1946)
18. STRICKLAND, W.D.
STURDEVANT, C.M. Porosity in the full cast crown
J. Amer. dent. Ass. **58**, 69 (1959)
19. PHILLIPS, R.W. Studies on the Density of Castings As Related to Their Position in The Ring
J. Amer. dent. Ass. **35**, 329 (1947)
20. RYGE, G.
KOZAK, S. F.
FAIRHURST, C. W. Porosities in dental gold castings
J. Amer. dent. Ass. **54**, 746 (1957)
21. MEYERS, R. E.
PFEIFFER, K. R. Effect Of Varying Conditions On The Time Required To Cast Gold
J. Amer. dent. Ass. **27**, 530 (1940)
22. MEYERS, R. E. Time Required To Cast Gold By Centrifugal Force
J. Amer. dent. Ass. **28**, 2001 (1941)

23. NEUER, H. Mengenanalyse mit dem Mikroskop
Sonderdruck aus den Zeiss-Informationen
Nr. 60
24. PFANZAGL, J. Allgemeine Methodenlehre der Statistik II,
Berlin (1966)
Der Vergleich mehrerer unabhängiger
Stichproben, 154
Der Vergleich zweier unabhängiger
Stichproben, 147
25. DOCUMENTA GEIGY Wissenschaftliche Tabellen
J. R. Geigy AG, Basel, 127 (1962)

LEBENS LAUF

Am 21. September 1941 wurde ich, Klaus-Dieter Fuchs, als Sohn des Zahnarztes Dr. med. dent. Richard W. Fuchs und seiner Ehefrau Charlotte, geb. Küstner, in Oppeln (Oberschlesien) geboren.

Nach Flucht und Internierung übersiedelten wir von Berlin 1948 nach Weilheim (Teck) und 1953 nach Heilbronn, wo ich im Frühjahr 1960 am dortigen Humanistischen Theodor-Heuss-Gymnasium die Reifeprüfung ablegte.

Mit dem Sommersemester 1960 begann ich mein zahnmedizinisches Studium an der Johannes-Gutenberg-Universität in Mainz, wo ich im Oktober 1962 die zahnärztliche Vorprüfung bestand. Das erste klinische Semester absolvierte ich in Mainz, die folgenden zwei Semester an der Freien Universität Berlin und zum Sommersemester 1964 kehrte ich nach Mainz zurück. Hier legte ich nach einem Gesamtstudium von 11 Semestern am 16. Februar 1966 die zahnärztliche Prüfung ab.

Zur Zeit übe ich meinen Beruf als Zahnarzt in der väterlichen Praxis in Heilbronn aus.

Herrn Privatdozent Dr. H. Marx danke ich sehr für die Überlassung des Themas, sein Interesse sowie seine ständige Bereitschaft, mich mit Rat und Tat zu unterstützen.

